Recyclage de résidus plombifères dans un four rotatif

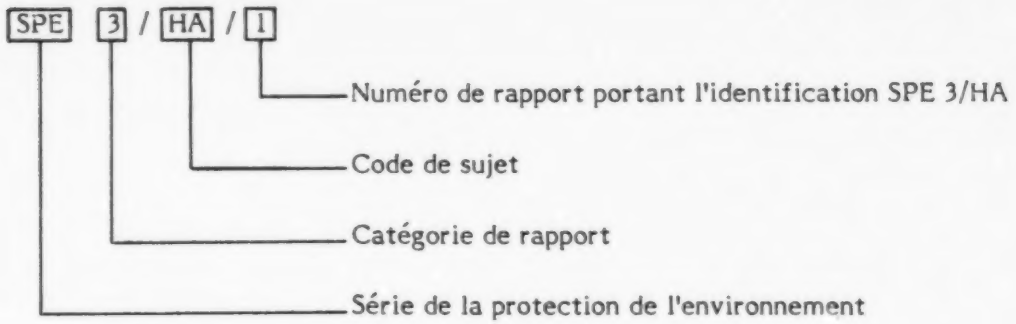
Rapport SPE 3/HA/6
Juin 1989

Environnement Canada
Environment Canada

Canada

SÉRIE DE RAPPORTS DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AN	Technologie anaérobie
AP	Pollutants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SF	Traitement de surface
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
TX	Textiles
UP	Pollution urbaine
WP	Protection/préservation du bois

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

RECYCLAGE DE RÉSIDUS PLOMBIFÈRES DANS UN FOUR ROTATIF

par

NOVA Pb Inc.
Ville Sainte-Catherine (Québec)

pour la

Direction du développement technologique et des services techniques
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

Ce projet a été réalisé en vertu du Programme de création et de démonstration de techniques de conservation des ressources et de l'énergie.

Rapport SPE 3/HA/6
Juin 1989

89-05565/

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre:

Recyclage de résidus plombifères dans un four rotatif

(Rapport ; SPE 3/HA/6)
Publ. aussi en anglais sous le titre: Treatment of leadbearing residus in a rotary kiln.
Comprend un résumé en anglais.
ISBN 0-662-95582-X
No de cat. MAS En49-4/3-6F

1. Plomb -- Déchets -- Elimination. 2. Pigments -- Déchets -- Elimination. 3. Déchets industriels -- Recyclage. 4. Fusion (Métallurgie). I. Nova Pb Inc. II. Canada. Direction du développement technologique et des services techniques. II. Canada. Environnement Canada. IV. Collection: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 3/HA/6.

TD196.L4T7314 1989 661'.0688 C89-097114-5

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989
No de catalogue En 49-4/3-6F
ISBN 0-662-95582-X
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

RÉSUMÉ

Entre janvier et mars 1988, NOVA Pb Inc. a recyclé 711 775 kg de résidus plombifères provenant de Heubach Inc., le plus grand fabricant de pigments minéraux et organiques aux États-Unis.

Ce rapport décrit le procédé utilisé par NOVA pour le recyclage de tels résidus: fusion dans un four rotatif avec du carbonate de sodium, du coke et du fer comme additifs. Il décrit aussi la composition de la charge et les avantages environnementaux, économiques et énergétiques d'un tel recyclage.

ABSTRACT

Between January and March 1988, 711 775 kg of lead-bearing residues from Heubach Inc., the largest manufacturer of inorganic or organic pigments in the United States, were processed by NOVA Pb Inc.

This report describes the smelting process, using the rotary kiln as the smelting technology together with three additives: soda ash, coke, and iron; the product; and environmental, economic, and energy-saving benefits as they relate to the treatment of the Heubach material and similar lead-bearing residues.

REMERCIEMENTS

La préparation de ce rapport et l'ensemble du projet Heubach n'auraient pas été possibles sans le professionnalisme et le dévouement de toute la direction de NOVA. Nous remercions en particulier Dimitrie Hillard et Bryan Bennett de leur contribution. Nous remercions également Environnement Canada de son aide durant les deux phases du projet.

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été revu par la Direction du développement technologique et des services techniques d'Environnement Canada, qui en a approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu soit conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifie pas qu'on en recommande ou approuve l'emploi.

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Les lecteurs désirant faire des observations sur ce rapport sont priés de les adresser à:

A. Ross
Direction du développement technologique et des services techniques
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Report available in English under the title *Treatment of Lead-Bearing Residues in a Rotary Kiln*. For copies, please contact:

Environmental Protection Publications
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ/ABSTRACT		iii
REMERCIEMENTS		iv
LISTE DES TABLEAUX		vii
LISTE DES FIGURES		viii
1	**Introduction et vue d'ensemble**	1
1.1	Historique	1
1.1.1	Phase I	1
1.1.2	Phase II	1
1.2	Préparatifs en vue des essais	2
1.3	Usine et équipement de NOVA	2
1.4	Procédé de fusion	3
1.4.1	Manutention des matières premières	3
1.4.2	Fusion	3
1.4.3	Mesures antipollution	4
1.4.4	Additifs	4
1.4.5	Équipement	4
2	**Description de la charge**	5
2.1	Résidus Heubach	5
2.2	Plomb d'accumulateurs recyclé	5
2.3	Écume	6
2.4	Additifs	6
3	**Procédé**	7
3.1	Expédition et manutention	7
3.2	Préparation pour la fusion	7
3.3	Déchiquetage des fûts	7
3.4	Fusion et affinage	7
3.4.1	Enfournement	7
3.4.2	Additifs	8
3.4.3	Paramètres opérationnels (pendant les essais)	9
3.4.4	Examen du fonctionnement	9
4	**Considérations environnementales**	10
4.1	Résultats des essais	10
4.1.1	Métal en barres	10
4.1.2	Scories	10
4.1.3	Poussières recyclées	11
4.2	Plomb	12
4.3	Chrome	12
4.4	Bilan de matières (par cycle)	13
5	**Examen du procédé**	15
5.1	Problèmes et solutions proposées	15

6	**Considérations économiques**	17
6.1	Économies d'énergie	18
6.2	Autres applications possibles de la technologie NOVA	18

ANNEXE A - ÉQUIPEMENT 21

ANNEXE B - RÉSUMÉ DES CHARGEMENTS ET ANALYSES CHIMIQUES 27

LISTE DES TABLEAUX

1	PROPORTIONS DES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS DE LA CHARGE ENFOURNÉE	8
2	ADDITIFS	8
3	PARAMÈTRES OPÉRATIONNELS	9
4	ANALYSE CHIMIQUE DU MÉTAL EN BARRES	10
5	ANALYSE CHIMIQUE DES SCORIES	10
6	RÉSULTATS DES ESSAIS DE LIXIVIATION DES SCORIES	11
7	PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES POUSSIÈRES CAPTÉES PAR LES DÉPOUSSIÉREURS	11
8	ÉMISSIONS À LA CHEMINÉE	12
9	BILAN DE MATIÈRES	13
10	QUANTITÉS DE PLOMB ET DE CHROME À L'ENTRÉE	13
11	QUANTITÉS DE PLOMB ET DE CHROME À LA SORTIE	14
12	CALCUL DES REVENUS	17
A-1	POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE	23
B-1	RÉSUMÉ DES CHARGEMENTS	29
B-2	ANALYSES CHIMIQUES	30

LISTE DES FIGURES

A-1	SYSTÈME DE MÉLANGE ET DE DOSAGE	24
A-2	FOUR ROTATIF	25
A-3	SYSTÈME ANTIPOLLUTION	26

1 INTRODUCTION ET VUE D'ENSEMBLE

1.1 Historique

1.1.1 Phase I. - Des discussions entre Noranda et NOVA (qui s'appelait alors Preussag Metal Inc.) sur la possibilité de recycler des résidus plombifères provenant de la fonderie Noranda Horne, à Noranda (Québec), avaient été engagées au début de 1983. Sur la foi des résultats d'un projet pilote de recyclage réalisé au laboratoire de recherche de Preussag AG, à Oker (République fédérale d'Allemagne), en 1983 et d'un essai en vraie grandeur à Montréal, en février et mars 1985, NOVA et Noranda signèrent, en octobre 1985, un accord pour la réalisation d'un projet de plus grande envergure.

L'objectif était de recycler les poussières du réacteur et du convertisseur de la fonderie Horne et d'obtenir suffisamment de données pour signer une entente à long terme entre les deux sociétés pour le traitement des résidus plombifères produits par la Noranda.

La Phase I du projet, qui portait sur 2100 tonnes (t), soit environ la moitié des 5000 t prévues à l'origine, s'est terminée en mai 1986. Le rapport final a été achevé en février 1987. Ce rapport a été publié dans la collection des rapports à diffusion restreinte (rapports EP) d'Environnement Canada.

En avril 1987, Noranda signifiait sa décision de mettre fin au recyclage des poussières, sans que l'on sache vraiment pourquoi. Or, il semblerait que Noranda soit en train de construire deux fours rotatifs à ses installations de fusion du plomb et du zinc de Belledune (Brunswick Mining and Smelting). Ces fours rotatifs permettraient de recycler les 15 000 ou 20 000 t de poussières plombifères produites chaque année par la fonderie Horne.

Tout porte à croire que les résultats obtenus par NOVA avec le four rotatif pour le recyclage des poussières plombifères ont été suffisamment concluants pour justifier que la Noranda se dote de ses propres installations.

1.1.2 Phase II. - NOVA ayant été elle aussi impressionnée par la souplesse du four rotatif et par sa capacité de transformation d'autres matières plombifères, il fut décidé de poursuivre le projet en utilisant des résidus provenant d'une autre source.

Heubach Inc. de Newark (New Jersey) est le plus gros fabricant de pigments minéraux et organiques aux États-Unis. Elle fabrique entre autres des produits chimiques et des pigments à base de plomb. La société appartient actuellement à des intérêts privés de la République fédérale d'Allemagne, qui l'ont acquise de E.I. Du Pont, en 1984. Les principaux produits renfermant du plomb sont le carbonate de plomb et le chromate de

plomb et sont vendus habituellement à l'industrie des peintures, des encres, des plastiques et des tissus. Le chromate de plomb est le pigment principal des jaunes et des oranges.

Les résidus proviennent du nettoyage de l'équipement entre chaque lot, ce qui explique partiellement leur forte teneur en eau, à quoi s'ajoutent les surplus et les produits rejetés. Les résidus Heubach ont été choisis en raison: *a*) de la quantité disponible (environ 1000 t/an sur une base continue); *b*) de leur composition (teneurs en plomb et en soufre comparables à la poussière de Noranda); et *c*) de l'emplacement de l'usine et de ses relations avec notre compagnie (Heubach Inc. est cliente de NOVA Pb Inc. et se trouve à une distance raisonnable de l'usine de NOVA, à Montréal).

Entre le 27 janvier et le 17 mars 1988, NOVA a reçu 711 775 kg de résidus. Le recyclage, qui a commencé en avril, consistait à déchiqueter les fûts avec leur contenu, à fondre le tout avec le sulfate de plomb régulier de NOVA et à obtenir par affinage du plomb de haute pureté.

Le but de ce rapport est de résumer le projet et de faire ressortir les points les plus importants du recyclage des résidus Heubach ou de résidus similaires en prévision de projets ultérieurs.

1.2 Préparatifs en vue des essais

En octobre 1986, les gouvernements du Canada et des États-Unis ont signé un accord réglementant le transport transfrontalier des déchets dangereux (selon la définition d'un pays ou de l'autre). Comme l'Agence de protection de l'environnement du New Jersey considérait que les résidus provenant de l'usine Heubach constituaient des déchets dangereux, il a fallu suivre la procédure décrite dans l'accord avant de pouvoir importer ces déchets au Canada.

Avant d'autoriser l'importation de ces déchets, Environnement Canada avait demandé au ministère de l'Environnement du Québec d'approuver de façon formelle leur recyclage par NOVA Pb Inc.

1.3 Usine et équipement de NOVA

L'usine de NOVA Pb Inc. est située dans le parc industriel de Ville Sainte-Catherine (Québec). Elle a une superficie de 209 000 m^2 et elle est desservie par la route 132, une voie du Canadien Pacifique et la voie maritime du Saint-Laurent.

On estime que l'usine construite en 1979-1980 vaut actuellement 65 millions de dollars. Presque la moitié des immobilisations sont liées à la protection de l'environnement. Elle est dotée des équipements les plus modernes qui soient pour le recyclage de

l'air et de l'eau. La conception particulière du long four rotatif et l'utilisation de carbonate de sodium garantissent un piégeage efficace du soufre.

L'usine de NOVA Pb Inc. est la plus importante fonderie canadienne de plomb de deuxième fusion avec une capacité annuelle de fusion de 60 000 tonnes de plomb et une capacité d'affinage de 120 000 t/an. Avec une production actuelle de 24 000 à 30 000 tonnes de plomb de qualité commerciale, NOVA est le troisième producteur canadien, derrière Cominco et Noranda.

En prévision de l'entreposage des résidus Heubach, NOVA a dépensé environ 65 000 $ pour agrandir et améliorer les aires d'entreposage des fûts de résidus. Ces travaux comportaient la construction d'un réseau de drainage raccordé à la station d'épuration des eaux de l'usine dans l'éventualité d'un accident ou d'un déversement. NOVA a dû acquérir également une déchiqueteuse de fûts, machine qui n'avait pas été nécessaire pour le projet Noranda. On évitait ainsi d'avoir à vider les fûts manuellement et du même coup la productivité était meilleure. Cela a également permis d'améliorer les conditions d'hygiène et de sécurité des travailleurs, et d'éliminer les fûts qui de toute façon n'auraient pu être réutilisés, faute de pouvoir les décontaminer adéquatement. Les coûts d'achat et d'installation de cette déchiqueteuse obtenue de la Shred-Pak de Cambridge, en Ontario, se sont élevés à près de 120 000 dollars. L'ajout des fûts déchiquetés aux résidus Heubach a fourni de plus une partie du fer requis pour le procédé de fusion utilisé.

1.4 Procédé de fusion

La fusion des différents matériaux plombifères s'effectue dans un four rotatif et comporte l'addition de carbonate de sodium, de coke et de fer, entre autres.

1.4.1 Manutention des matières premières. - Après le déchiquetage des fûts, toutes les matières premières qui entrent dans la composition du mélange sont mises en tas pour être assemblées par lots ou enfournées. Un convoyeur à courroie les achemine vers le système d'enfournement gravimétrique situé dans le haut du four. Les poussières captées par les dépoussiéreurs des gaz sont recyclées au même point.

1.4.2 Fusion. - Le four rotatif mesure 40 m de long et 2,9 m de diamètre. Il est équipé à la sortie d'un brûleur Eclipse d'une capacité de 54,32 GJ/h (51 600 000 BTU/h). Le four opère à 1100 °C. On soutire le plomb fondu par plusieurs trous de coulée en arrêtant la rotation; le plomb s'écoule par des goulottes couvertes dans des cuves de 60 tonnes. Les scories débordent de l'extrémité chaude par le déversoir en forme de cône et s'écoulent dans des poches à scories d'une tonne qui sont refroidies et éliminées.

Selon la masse spécifique et la teneur en métal des matières premières, le four peut atteindre une production dépassant 150 tonnes de plomb par jour.

1.4.3 Mesures antipollution. - Les gaz qui sortent du four traversent deux dépoussiéreurs à sacs filtrants: un de 630 sacs, d'une capacité de 80 000 m^3/h à 140 °C, pour les gaz de réaction; un autre de 540 sacs, d'une capacité de 80 000 m^3/h à 100 °C, pour les gaz de coulée. Le système comprend également quatre tours de refroidissement air-air capables de maintenir constante la température des gaz à l'entrée des dépoussiéreurs. Les poussières captées sont retournées à l'entrée du four.

1.4.4 Additifs. - En ce qui concerne la chimie de la fusion des résidus plombifères, les réactions primaires suivantes interviennent dans le four.

a) Le carbonate de sodium est introduit pour piéger le soufre dans les scories, empêchant sa libération sous forme de dioxyde de soufre.

$$PbSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow PbCO_3 + Na_2SO_4$$

$$PbCO_3 \longrightarrow PbO + CO_2$$

$$PbO + O \longrightarrow PbO_2$$

On ajoute également de la fonte pour piéger le soufre dans les scories.

$$PbS + Fe\ (fonte) \longrightarrow Pb + FeS$$

b) Le coke sert d'agent réducteur et de source d'énergie.

$$PbSO_4 + 2C \longrightarrow PbS + 2CO_2$$

$$PbO_2 + C \longrightarrow Pb + CO_2$$

$$PbO + C \longrightarrow Pb + CO$$

1.4.5 Équipement. - Les figures A-1, A-2 et A-3 montrent en détail les équipements utilisés pour le mélange et le dosage des matières premières (A-1), le four rotatif (A-2) et le système antipollution (A-3). Le tableau A-1 donne des renseignements sur les points d'échantillonnage. En raison des caractéristiques particulières des résidus Heubach (haute teneur en eau et très collants), la préparation des matières premières devait se faire dans un bâtiment distinct (Bâtiment 1) et elle exigeait un mélange soigneux des matières premières et des additifs. Les divers éléments de la charge étaient pesés sur des balances automatiques installées sur les chargeuses frontales.

Pendant les essais, on a utilisé les systèmes de dosage des ingrédients, de mesure et de réglage en place et on les a jugés suffisamment fiables et précis pour contrôler les paramètres du procédé, notamment la proportion de matières premières et d'additifs, la consommation de gaz naturel, la température et l'apport d'air secondaire.

2 DESCRIPTION DE LA CHARGE

Pour contrôler parfaitement le processus et mieux en évaluer les résultats, il fut décidé d'alimenter le four avec un mélange qui ne contiendrait qu'entre 6 et 10 p. 100 (8 p. 100 en moyenne) de résidus Heubach (charge humide). Le mélange des résidus Heubach et des matières premières habituellement utilisées par NOVA était conçu de façon à permettre la comparaison des caractéristiques métallurgiques et l'évaluation avec un étalon connu.

2.1 Résidus Heubach

Les constituants principaux des résidus Heubach sont le sulfate de plomb, le chromate de plomb et le carbonate de plomb. La composition moyenne des résidus était la suivante:

Élément	Masse sèche (%)	Élément	Masse sèche (%)
Plomb (Pb)	51,5	Chrome (Cr)	5,83
Antimoine (Sb)	0,44	Étain (Sn)	0,0588
Cuivre (Cu)	0,0026	Nickel (Ni)	0,0024
Argent (Ag)	0,0034	Bismuth (Bi)	0,0145
Arsenic (As)	0,0975	Cadmium (Cd)	0,0006
Zinc (Zn)	0,0058	Tellure (Te)	< 0,0001
Fer (Fe)	0,0728	Soufre (S)	7,2

La teneur moyenne en eau du produit était de 34,1 p. 100. La granulométrie des particules était la suivante: maille + 65, 1,0 p. 100; maille - 65 + 100, 7,5 p. 100; maille - 100 + 200, 40,0 p. 100; maille - 200, 51,5 p. 100. La masse volumique des résidus était de 2,35 t/m^3.

2.2 Plomb d'accumulateurs recyclé

Le plomb d'accumulateurs ou sulfate de plomb provenant du déchiquetage d'accumulateurs au plomb avait la composition moyenne suivante: eau, 12 p. 100; plomb (produit sec), 58,9 p. 100; antimoine (produit sec), 1,6 à 1,8 p. 100; soufre (produit sec), 4 à 5 p. 100.

La masse volumique variait de 2,2 à 5,1 t/m^3. Elle dépendait essentiellement de la teneur en plomb métallique du mélange (voir au chapitre 3.4.1 les données pour les lots B, C, D, F et G).

2.3 Écume

Pendant le mélange et l'affinage, les corps de densité inférieure au plomb flottent à la surface du plomb liquide et sont retirés par écrémage. Cette écume est retournée dans le four de fusion.

Dans les essais qui nous concernent, il y avait deux types d'écume: l'écume d'antimoine et l'écume de cuivre. L'écume d'antimoine contenait 85 p. 100 de Pb et 12 p. 100 de Sb pour une masse volumique de 4,2 t/m^3. L'écume de cuivre contenait 98 p. 100 de Pb et 1 à 2 p. 100 de Sb pour une masse volumique de 5,1 t/m^3.

2.4 Additifs

Trois additifs ont été utilisés, à savoir:

- carbonate de sodium de qualité commerciale (99,2 p. 100 de Na_2CO_3); masse volumique de 0,9 à 1,1 t/m^3;
- copeaux de fer de qualité variable; teneur en fer de l'ordre de 80 à 90 p. 100; masse volumique de 2 t/m^3. Une partie du fer provenait des fûts déchiquetés;
- coke contenant 12 p. 100 d'eau, 13 p. 100 de cendres, 79 p. 100 de carbone fixé et 0,90 p. 100 de soufre.

3 PROCÉDÉ

3.1 Expédition et manutention

Les résidus plombifères provenant de l'usine Heubach étaient expédiés dans des fûts métalliques de 55 gallons américains (208 l), conformes aux normes du DOT (U.S. Department of Transportation) pour ce genre de matières. Chaque fût avait un couvercle amovible fixé par un anneau en acier boulonné. L'ajustement entre le couvercle et le fût assurait pratiquement l'étanchéité.

Les fûts étaient fixés sur des palettes très robustes de 1,2 m^2 qui étaient transportées dans des camions fermés à raison de 10 à 12 palettes par envoi, soit 40 à 48 fûts, et un poids net variant entre 13,5 à 18 tonnes. Les camions étaient déchargés avec un chariot élévateur à fourche; les palettes chargées étaient entreposées sur une aire asphaltée. Quarante-quatre envois sont parvenus à la NOVA entre le 27 janvier et le 17 mars 1988.

3.2 Préparation pour la fusion

Pour chaque lot, on prélevait et analysait un échantillon composé (tableaux B-1 et B-2, Annexe B).

3.3 Déchiquetage des fûts

Après le prélèvement des échantillons, les fûts étaient déchiquetés avec leur contenu dans la machine acquise spécialement. La déchiqueteuse était située à proximité du réseau de drainage raccordé à la station d'épuration des eaux de l'usine NOVA, afin de recueillir toute eau ou produit qui aurait pu se déverser lors du déchiquetage. En raison de la forte teneur en eau des résidus Heubach (34,2 p. 100) (tableau B-2), il était indispensable de pouvoir recueillir tout produit qui aurait pu s'échapper. Bien qu'aucune fuite ne se soit produite, nous avions analysé l'effet que cela pourrait avoir sur le rendement de la station. Nous avions établi que la présence de faibles quantités de chromate de plomb dans le bassin n'aurait pas d'effet sur l'efficacité normale des floculants et de la station d'épuration en général.

3.4 Fusion et affinage

3.4.1 Enfournement. - Comme nous l'avons mentionné, les résidus Heubach ont été mélangés avec d'autres matières plombifères. Les proportions utilisées pendant les essais figurent au tableau 1.

TABLEAU 1 PROPORTIONS DES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS DE LA CHARGE ENFOURNÉE

Mélange	Charge (t)	Résidus Heubach (%)	Plomb d'accumulateurs (%)	Plomb métallique (%)	Écume Cu (%)	Écume Sb (%)
A	150	6,0	80,5	-	13,5	-
B	180	5,0	67,5	16,5	11,0	-
C	170	9,0	67,6	11,7	11,7	-
D	170	9,0	67,6	11,7	11,7	-
E	160	8,0	48,0	-	-	44,0
F	180	10,0	40,0	-	-	50,0
G	190	6,0	62,5	21,0	10,5	-
H	200	7,0	58,0	17,5	17,5	-
I	165	10,0	68,8	-	21,2	-
Total	1565					

Remarque: Comme on le mentionne au paragraphe 4.4, les compositions sont celles d'échantillons représentatifs et non celles de la masse totale.

3.4.2 Additifs. - Les additifs utilisés avec chacun des mélanges ci-dessus sont indiqués au tableau 2.

TABLEAU 2 ADDITIFS (en tonnes)

Mélange	Carbonate de sodium	Coke	Fer
A	14,5	15,0	7,5
B	14,5	14,5	7,5
C	14,5	14,5	7,5
D	14,5	16,5	7,5
E	8,5	15,5	3,0
F	8,5	16,0	3,0
G	15,0	16,0	7,0
H	16,0	17,0	8,0
I	18,0	17,0	8,0

Les quantités d'additifs étaient calculées pour obtenir l'équilibre stoechiométrique requis, compte tenu des teneurs en S, PbO (monoxyde de plomb), PbO_2 (dioxyde de plomb) et $PbSO_4$ (sulfate de plomb). En ce qui concerne le fer, on tenait compte des fûts déchiquetés introduits dans le mélange.

3.4.3 Paramètres opérationnels (pendant les essais). - Les différents paramètres opérationnels figurent au tableau 3.

TABLEAU 3 PARAMÈTRES OPÉRATIONNELS

Temps de fonctionnement du four (543 heures pendant 28 jours consécutifs)		80,8 %
Taux d'enfournement:	mélanges	13,40 t/h (env.)
	additifs	2,36 t/h
	total	15,76 t/h
Production de métal en barres		144 t/j
Production de scories		45 t/j
Gaz de carneau		80 000 m^3/h
Consommation de gaz naturel		500 m^3/h
Consommation d'additifs:	carbonate de sodium	0,96 t/h
	coke	1,03 t/h
	fer	0,375 t/h
Fréquence des coulées		4 fois/j
Vitesse de rotation du four		0,7 tours/mn
Durée moyenne de fusion		2,5 h

3.4.4 Examen du fonctionnement. - La charge doit être préparée à l'avance et pour cela il faut mélanger intimement les différents composants sur le sol. Pour minimiser la présence de CO dans les gaz (à une consommation de gaz naturel de 500 m^3/h), un tirage de 25 à 35 p. 100 est idéal. La consommation de gaz naturel est supérieure à la normale et 15 à 20 p. 100 de l'augmentation est attribuée à la forte teneur en eau des résidus Heubach. La température des gaz de réaction à l'entrée du four est de 280 à 320 °C. À l'entrée du dépoussiéreur, elle est de 135 à 145 °C. Il ne se formait pas d'anneaux dans la zone de transition (là où se produit le changement de phase). On a observé de légers dépôts, mais ils ne sont pas aussi tenaces que ceux qui se forment pendant le fonctionnement normal. L'usure du revêtement réfractaire paraissait normale.

4 CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

4.1 Résultats des essais

4.1.1 Métal en barres. - Pendant l'essai, on a produit 4038 tonnes de plomb en barres dont la composition chimique figure au tableau 4.

TABLEAU 4 ANALYSE CHIMIQUE DU MÉTAL EN BARRES (en %)

Lot	Sn	Sb	Cu	Ni	Fe	Zn	Ag	As	Cd	S	Te	Bi	Cr
A	0,0002	1,98	0,028	0,0007	0,0002	0,0002	0,0012	0,098	0,0004	0,0016	0,0041	0,0106	0,0002
B	0,1548	1,96	0,037	0,0006	0,0011	0,0001	0,0014	0,063	0,0012	0,0023	0,0035	0,0112	0,0002
C	0,0028	1,76	0,038	0,0007	0,0009	0,0001	0,0014	0,056	0,0004	0,0032	0,0029	0,0112	0,0002
D	0,0011	1,60	0,028	0,0005	0,0008	0,0002	0,0015	0,052	0,0003	0,0150	0,0040	0,0115	0,0003
E	0,0004	1,84	0,019	0,0007	0,0008	0,0001	0,0013	0,100	0,0003	0,0021	0,0046	0,0110	0,0003
F	0,0003	1,89	0,017	0,0009	0,0006	0,0001	0,0014	0,103	0,0005	0,0036	0,0050	0,0110	0,0002
G	0,0006	1,92	0,018	0,0019	0,0006	0,0001	0,0014	0,079	0,0001	0,0022	0,0055	0,0114	0,0001
H	0,0006	1,83	0,023	0,0005	0,0007	0,0001	0,0015	0,052	0,0003	0,0150	0,0045	0,0122	0,0003
I	0,0008	2,02	0,023	0,0003	0,0014	0,0001	0,0015	0,066	0,0002	0,0012	0,0039	0,0129	0,0002
Moyenne	0,0180	1,64	0,026	0,0008	0,0008	0,0001	0,0014	0,074	0,0004	0,0021	0,0042	0,0114	0,0003

Remarque: Teneur en plomb = 98,12 % (variabilité).

4.1.2 Scories. - Pendant les 28 jours de l'essai, on a produit 1254 tonnes de scories. Comme prévu, le rapport scories/métal (31/32 p. 100) n'a pas changé beaucoup par rapport au fonctionnement normal. On n'a pas relevé de changement apparent de la viscosité des scories. L'analyse chimique détaillée des scories est donnée au tableau 5.

TABLEAU 5 ANALYSE CHIMIQUE DES SCORIES (en %)

Lot	Pb	Sb	Ca	Na	Fe	Mg	S	Te	Cr
A	1,4	0,13	1,28	23,7	18,3	0,39	31,1	0,0240	1,68
B	1,5	0,09	0,52	18,6	16,2	0,06	25,5	0,0310	1,40
C	2,3	0,11	0,48	15,3	19,7	0,06	34,8	0,0330	1,60
D	2,4	0,18	0,15	16,4	19,1	0,16	26,3	0,0440	1,45
E	2,2	0,37	0,96	17,4	18,9	0,26	23,7	0,0560	1,65
F	2,9	0,32	0,75	17,2	21,0	0,19	29,7	0,0430	1,60
G	2,9	0,21	0,59	18,3	20,6	0,18	34,2	0,0300	1,60
H	1,9	0,08	1,44	12,2	19,0	0,13	26,4	-	1,65
I	1,3	0,05	0,55	16,6	21,0	0,14	36,5	-	1,50
Moyenne	2,1	0,17	0,75	17,3	19,3	0,17	29,8	0,0290	1,565

Des essais de lixiviation des scories ont été effectués conformément aux méthodes prescrites par Environnement Canada. Les résultats de trois essais distincts sont consignés au tableau 6.

TABLEAU 6 RÉSULTATS DES ESSAIS DE LIXIVIATION DES SCORIES (en mg/l)

Élément	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Norme
Pb	0,02	0,03	0,09	0,1
Cr	0,024	0,013	0,016	< 0,02
Zn	0,04	0,05	0,06	0,1
Cd	SSD	SSD	SSD	< 0,1
Cu	0,05	0,03	0,08	1,0
Ni	0,14	0,09	0,36	1,0
As	SSD	SSD	SSD	0,5

Remarque: SSD = sous le seuil de détection.

4.1.3 Poussières recyclées. - Au tableau 7, on donne les principaux constituants des poussières captées par les dépoussiéreurs. Une fois encore, les résultats sont en ligne avec les conditions normales de fonctionnement. On a recyclé quinze tonnes de poussières.

TABLEAU 7 PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES POUSSIÈRES CAPTÉES PAR LES DÉPOUSSIÉREURS (en %)

Lot	Pb	Cr	S
A	74	0,021	4,5
B	75	0,019	4,2
C	71	0,021	4,3
D	74	0,016	3,8
E	70	0,019	4,9
F	71	0,019	4,3
G	76	0,021	4,1
H	79	0,013	4,5
I	70	0,012	3,9
Moyenne	73,3	0,177	4,3

4.2 Plomb

Eau. - Ni le four rotatif ni les procédés d'affinage ne produisent des eaux usées. Toutefois, l'usine de traitement de NOVA fonctionne en permanence et elle reçoit les eaux de ruissellement, les eaux de pluie et les eaux de lavage. En avril 1988, l'analyse de l'eau a donné les résultats suivants: Pb, 0,12 mg/l (norme du Québec, 0,20 mg/l); Zn, 0,04 mg/l (norme du Québec, 1,0 mg/l); SO_4 (sulfate), 8925 mg/l; pH, 9,29.

Émissions à la cheminée. - On s'est adressé à une autre société pour mesurer périodiquement les émissions de dioxyde de soufre et de particules à la sortie de la cheminée principale et procéder à des échantillonnages à l'intérieur de l'usine pour s'assurer que les ambiances de travail étaient conformes aux normes.

La moyenne des résultats pendant le fonctionnement normal, pour la cheminée principale, figure au tableau 8.

TABLEAU 8 ÉMISSIONS À LA CHEMINÉE

		Normes	
	NOVA	Fédérales	Provinciales
Particules (mg/m^3)*	5,8	46	46
Pb (% de la masse de particules)	13,4	63	-

* Mesurées à la pression et à la température normales. Dans les conditions normales de fonctionnement du four, la quantité de SO_2 émise est presque nulle.

Scories. - La teneur en plomb des scories variait de 1,4 à 2,9 p. 100 avec une valeur moyenne de 2,1 p. 100. La teneur en plomb du lixiviat variait entre 0,02 et 0,09 mg/l (la norme provinciale fixe une limite de 0,10 mg/l). Les scories sont transportées dans une décharge approuvée à Delson (Québec), qui se trouve à 10 km environ de l'usine NOVA.

4.3 Chrome

Eau. - Comme le chrome n'est pas soluble dans l'eau, les particules entraînées par les eaux de ruissellement sont récupérées dans le bassin de décantation et recyclées dans le four.

Émissions à la cheminée. - On n'a pas décelé de chrome dans les émissions à la cheminée.

Scories. - La conversion du chrome dans les scories a été évaluée à 98,9 p. 100. Pendant la Phase I du projet, la récupération du chrome ne paraissait pas nécessaire étant donné la faible teneur en chrome des scories. La teneur en chrome du lixiviat était de 0,018 mg/l, ce qui est inférieur à la norme provinciale de 0,02 mg/l.

4.4 Bilan de matières (par cycle)

Le bilan de matières est donné aux tableaux 9 à 11.

TABLEAU 9 BILAN DE MATIÈRES

Charge	
Plomb d'accumulateurs	4346 t (66,8 %)
Résidus Heubach	517 t (8,0 %)
Écume de Cu	643 t (9,9 %)
Écume de Sb	300 t (4,6 %)
Métaux	700 t (10,7 %)
Total	6506 t
Additifs	
Coke	501 t
Fer	182 t
Carbonate de sodium	467 t
Production du four	
Métal (en barres)	4038 t
Scories	1254 t

TABLEAU 10 QUANTITÉS DE PLOMB ET DE CHROME À L'ENTRÉE

Constituant	t	Pb(%)*	Pb(t)	Cr(%)*	Cr(t)
Plomb d'accumulateurs	4346	51,83	2252,814	-	-
Résidus Heubach	517	33,93	175,41	3,84	19,85
Écume de Cu	643	98,00	630,14	-	-
Écume de Sb	300	85,00	255,00	-	-
Métaux	700	98,00	686,00	-	-
Total	6506		3999,364	-	19,85

* Par rapport à la masse humide.

TABLEAU 11 QUANTITÉS DE PLOMB ET DE CHROME À LA SORTIE

Constituant	t	Pb(%)	Pb(t)	Cr(%)	Cr(t)
Métal (en barres)	4038	98,12	3962,00	0,0003	0,012
Scories	1254	2,1	26,33	1,565	19,632
Poussières recyclées	15	73,3	10,99	0,177	0,026
Émissions à la cheminée	-	13,4	0,0337*	-	-
Total			3999,354		19,67**

* D'après le tableau 3: 80 000 m^3/h x 24 h x 28 j = 43,4 x 10^6 m^3 de gaz de carneau contenant (d'après le tableau 8) 5,8 mg/m^3 x 13,4 % x 43,4 x 10^6 m^3 = 33,7 kg de plomb.

** L'écart de 0,180 t entre les quantités de Cr à l'entrée et à la sortie représente les particules transportées par les eaux de ruissellement dans le bassin de décantation de la station d'épuration. Les boues de ce bassin étant recyclées dans le four lorsque le bassin est nettoyé, le chrome ainsi perdu se retrouvera éventuellement dans les scories.

5 EXAMEN DU PROCÉDÉ

Au total, 517 tonnes de résidus Heubach ont été recyclés dans le four rotatif avec du plomb d'accumulateurs régulièrement recyclé par NOVA, des écumes, des métaux et divers additifs.

Les résultats montrent que les résidus Heubach peuvent être recyclés dans le four rotatif de NOVA (avec du carbonate de sodium) pour produire du plomb métallique et des scories dans lesquelles la conversion du chrome et du soufre est presque complète (98,9 p. 100 pour le chrome, 99,5 p. 100 pour le soufre).

5.1 Problèmes et solutions proposées

Les essais ont permis de démontrer que l'on pouvait utiliser le procédé métallurgique en respectant les règlements de protection de l'environnement. Pour garantir que NOVA Pb Inc. manutentionne et recycle les résidus Heubach ou d'autres matériaux similaires de façon sûre et économique, il faut considérer les éléments suivants:

a) *Bâtiment 1 et annexe*

- Pour minimiser le va-et-vient des matières premières et des additifs à l'extérieur, tous les produits doivent rester dans ce bâtiment;
- De nouvelles enceintes rattachées au Bâtiment 1 devraient être construites pour l'entreposage des métaux et du carbonate de sodium, du fer, du coke et des écumes;
- L'utilisation de l'espace doit être revue;
- Un système de pesée plus précis devrait être installé sur la chargeuse frontale;
- La déchiqueteuse devrait être installée dans ce bâtiment.

b) *Contrôle des émissions à la cheminée*

Même si l'on n'a pas décelé de problèmes, on devrait installer de meilleurs systèmes de surveillance en continu des émissions (teneurs des gaz de carneau en particules et en SO_2).

c) *Contrôle du processus dans le four*

Bien que le système manuel actuel fonctionne convenablement, il faudrait, pour améliorer le rendement du four, surveiller en continu la qualité des gaz de carneau. De nouveaux instruments automatiques de mesure du CO (monoxyde de carbone), CO_2 (dioxyde de carbone), O_2 (oxygène) et CO/CO_2

devraient être installés pour automatiser entièrement la surveillance du processus de fusion.

Malheureusement, le nouveau système de filtre-presse et de remplissage des fûts à l'usine Heubach n'a pas donné au début les résultats prévus et les résidus avaient une très forte teneur en eau. L'objectif actuel est de réduire la teneur en eau entre 15 et 18 p. 100, ce qui abaisserait considérablement le coût de recyclage des résidus Heubach et faciliterait leur manutention à l'usine NOVA. Par ailleurs, cette teneur en eau serait suffisante pour éviter le dégagement de poussières.

6 CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Du point de vue économique, le recyclage des résidus plombifères de Heubach a été couronné de succès. À noter que le coût est encore plus avantageux quand on exclut les frais d'investissement (modifications de l'usine et équipement) dans le calcul du coût de recyclage.

En fait, puisque les frais de recyclage (0,212 $US/lb = 0,5796 $CAN/kg) étaient appliqués au poids brut reçu, Heubach a payé NOVA pour débarrasser l'usine de Newark (New Jersey) de ses résidus. Le tableau 12 donne le détail des revenus.

TABLEAU 12 CALCUL DES REVENUS

Par chargement	
Masse brute moyenne d'un chargement (kg)	16 177
Frais de recyclage ($US/lb)	0,212
Frais de recyclage ($CAN/kg)	0,5796
Prix moyen du plomb durant la période ($CAN/kg)	0,929
Teneur moyenne en Pb (produit sec %)	51,5
Teneur moyenne en Pb (produit humide %)	33,9
Quantité moyenne de Pb par chargement (kg)	5 484

Remarque: Les frais de transport étaient à la charge de Heubach.

Le calcul des revenus pour un chargement est le suivant:

- Valeur du plomb:

  Quantité de Pb (kg) x cours du Pb ($CAN/kg)

  5484 x 0,929 = 5094,64 $CAN

- Moins les frais de recyclage:

  Masse brute (kg) x frais de recyclage ($CAN/kg)

  16 177 x 0,5796 = 9376,19 $CAN

- Total payable à NOVA: 4281,55 $CAN

Autrement dit, les revenus de NOVA s'élevaient en moyenne à 4281,55 $ par chargement, soit un total de 188 388,20 $ pour les 44 chargements reçus. Le coût total, comprenant le déchiquetage, la fusion, l'affinage, l'élimination des scories, les frais généraux et l'amortissement, se montait à environ 0,228 $CAN/kg, soit 162 288 $ pour l'ensemble. On a donc réalisé un bénéfice de 26 100 $ ou 13,9 p. 100 des revenus.

Deux possibilités se présentaient à Heubach pour éliminer ces résidus: l'enfouissement ou le recyclage. L'enfouissement traditionnel aurait coûté 100 $US par baril (si l'on compte une moyenne de 40 barils par chargement, cela aurait représenté 4960 $CAN par chargement). Le recyclage ne représentait pas une économie substantielle par rapport à l'enfouissement (683 $CAN par chargement, soit 14 p. 100 de moins). Par contre, il mettait la société à l'abri des responsabilités à long terme pouvant résulter de l'enfouissement de matières comme le chromate de plomb. Dans les deux cas, le transport était à la charge de Heubach.

6.1 Économies d'énergie

Le coût total de 0,228 $/kg comprend le coût énergétique du recyclage des résidus Heubach estimé à 0,06 $/kg, dont 50 p. 100 sont appropriés à la consommation de gaz naturel pour la fusion.

Des études indépendantes ont montré que le recyclage du plomb représente une économie d'énergie considérable par rapport à l'énergie qu'il faut pour produire du plomb à partir de minerais. Une étude du Bureau international de la récupération* indique que le recyclage du plomb représente une économie d'énergie de 60 p. 100 par rapport à la production de plomb de première fusion. En réalité, les économies d'énergie réelles sont difficiles à calculer, car elles sont liées directement à la technologie et aux matières premières utilisées.

6.2 Autres applications possibles de la technologie NOVA

L'expérience acquise lors des essais avec les résidus de la Noranda et de la société Heubach et le succès incontesté de ces essais permettent à NOVA d'être très optimiste en ce qui concerne le recyclage de divers matériaux contenant du plomb. Les principaux points à examiner lorsque l'on envisage recycler de nouveaux matériaux sont: *a*) le respect absolu des règlements environnementaux; *b*) les effets possibles sur le personnel, le matériel et les installations (santé et sécurité des travailleurs, usure des revêtements de four, des dépoussiéreurs etc.); et *c*) l'influence sur les activités normales de recyclage de plomb d'accumulateurs à l'usine NOVA. (Tous les gaz et les poussières étant recyclés, les éléments résiduaires, tels que l'argent et le bismuth que NOVA n'est

---

* Bureau international de la récupération, "Recycling Means Energy Savings", dans: *Recycling Today*, 26(4): 74 (avril 1988).

pas équipée pour extraire, pourraient, à long terme, avoir un effet négatif sur la production courante de NOVA.)

Un examen préliminaire des poussières et résidus plombifères provenant d'autres sources canadiennes montre toute une gamme de produits et de volumes. On peut dire que toute entreprise utilisant du plomb, qui ne possède pas de four de fusion, produit des poussières et des boues qu'elle ne peut traiter elle-même.

Les compagnies canadiennes suivantes produisent des déchets contenant du plomb:

a) Federated Genco Limitée

- Emplacement: Montréal (Québec)
- Produit : Poussières captées par les dépoussiéreurs et les boues
- Composition :

Pb	17,0 %
H_2O	33,0 %
Sn	6,6 %
Cl (chlore)	1,0 %
Sb	0,21 %
Fe	0,48 %

- Quantité : Entre deux à quatre camions par année.

b) Kidd Creek

- Emplacement: Timmins (Ontario)
- Produit : Résidus de plomb et d'argent
- Composition :

Pb	30 à 38 %
H_2O	30 à 35 %
Ag	1000 à 2000 g/t
Fe	6 à 7 %
As	2,5 à 4 %

- Quantité : Environ 2500 t/an.

c) Hudson Bay Mining & Smelting

- Emplacement: Flin Flon (Manitoba)
- Produit : Résidus de plomb et d'argent
- Composition :

Pb	15 %
S	6 %
SiO_2 (dioxyde de silicone)	6 %
As	5,2 %
Zn	11,0 %
Cu	1,5 %
Ag	1,59 g/t
Au (or)	73,7 g/t

- Quantité : Indéterminée.

d) CarterChem Canada Inc.

- Emplacement: Montréal (Québec)
- Produit : Divers stéarates de plomb et sulfates
- Composition : À être déterminée
- Quantité : Entre deux à cinq camions par année.

Les possibilités les plus intéressantes pour NOVA sont le marché américain et les cendres de l'incinérateur de la Communauté Urbaine de Montréal. Ces deux possibilités représentent des volumes supérieurs à 10 000 tonnes par an, ce qui est important si l'on considère que NOVA a une capacité installée excédentaire de 20 000 à 30 000 tonnes par an. Chaque cas cependant exigerait une analyse de faisabilité avant que NOVA ne puisse entreprendre un recyclage économique et sûr pour l'environnement.

En conclusion, après la Phase I et la Phase II du projet d'Environnement Canada et avec la technologie moderne du four rotatif à cycle fermé, NOVA est dans une excellente position pour accepter des déchets industriels contenant du plomb qui autrement iraient dans des décharges, et les transformer en se conformant aux normes métallurgiques et environnementales. De l'avis de la direction de NOVA, la récupération et le recyclage des produits, et en particulier des déchets plombifères, sont à long terme bien préférables pour l'environnement à la vieille méthode de l'enfouissement dans une décharge approuvée.

NOVA Pb Inc., qui est actuellement la seule usine en Amérique du Nord qui soit équipée d'un four rotatif spécialement conçu pour la fusion des produits plombifères, est convaincue qu'elle a l'usine, l'équipement et le savoir-faire pour répondre aux exigences de ce marché.

ANNEXE A
ÉQUIPEMENT

TABLEAU A-1 POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE SUR LES FIGURES A-1 À A-3

Point d'échan-tillonnage	Description	Fréquence	Remarques
A	Résidus Heubach	Une fois par jour	
B	Coke	Une fois par jour	
C	Mélange	De temps à autre	
D	Métal	À chaque coulée	Goulotte
E	Métal	À chaque coulée	Cuve à plomb liquide
G	Scories	Toutes les 3 heures	Extrémité du four
H	Cendres volantes	Une fois par poste	Convoyeur à chaîne
K	SO_2	Sur demande	Cheminée
L	Cendres volantes	Sur demande	Cheminée

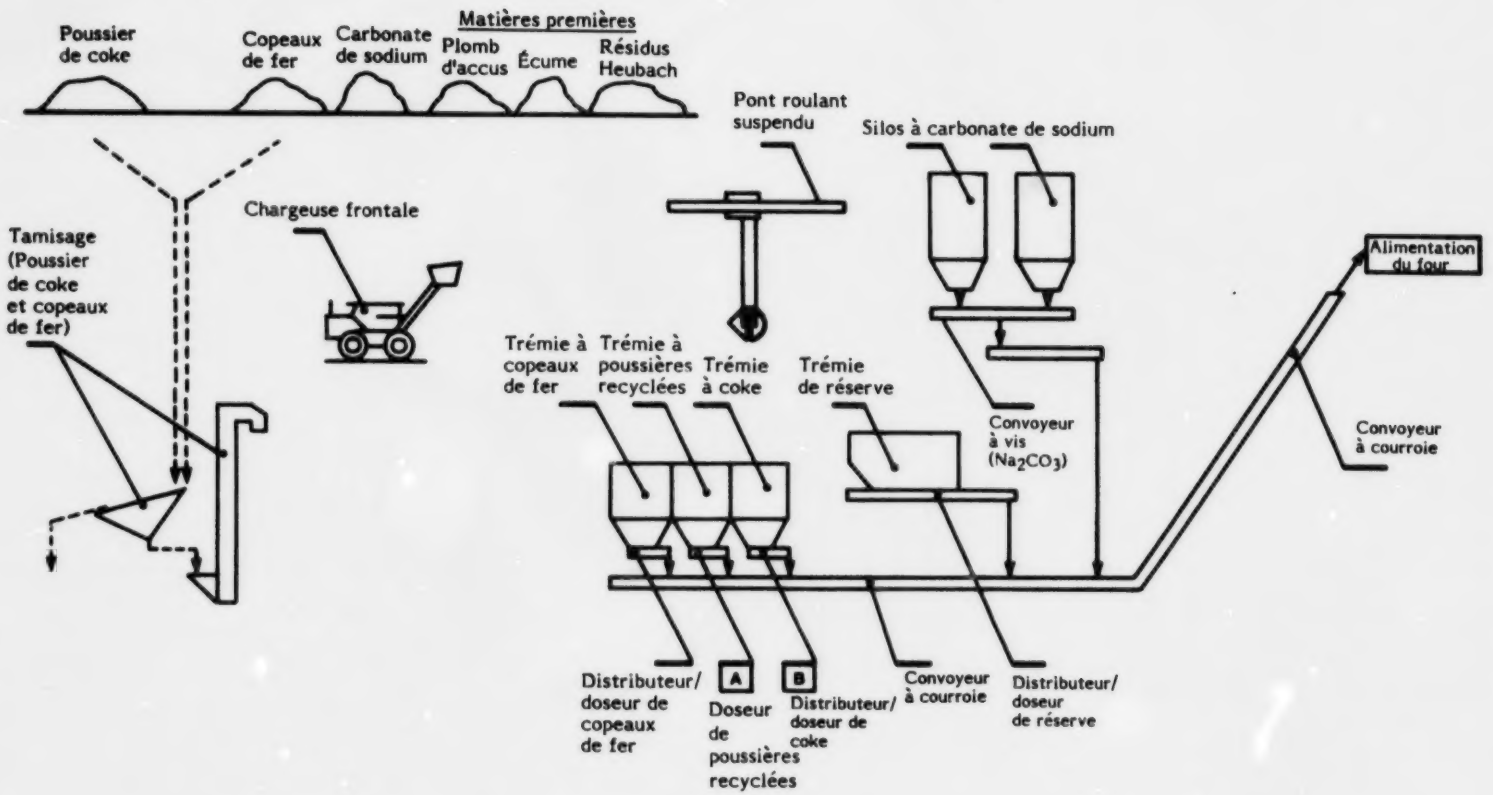


FIGURE A-1 SYSTÈME DE MÉLANGE ET DE DOSAGE

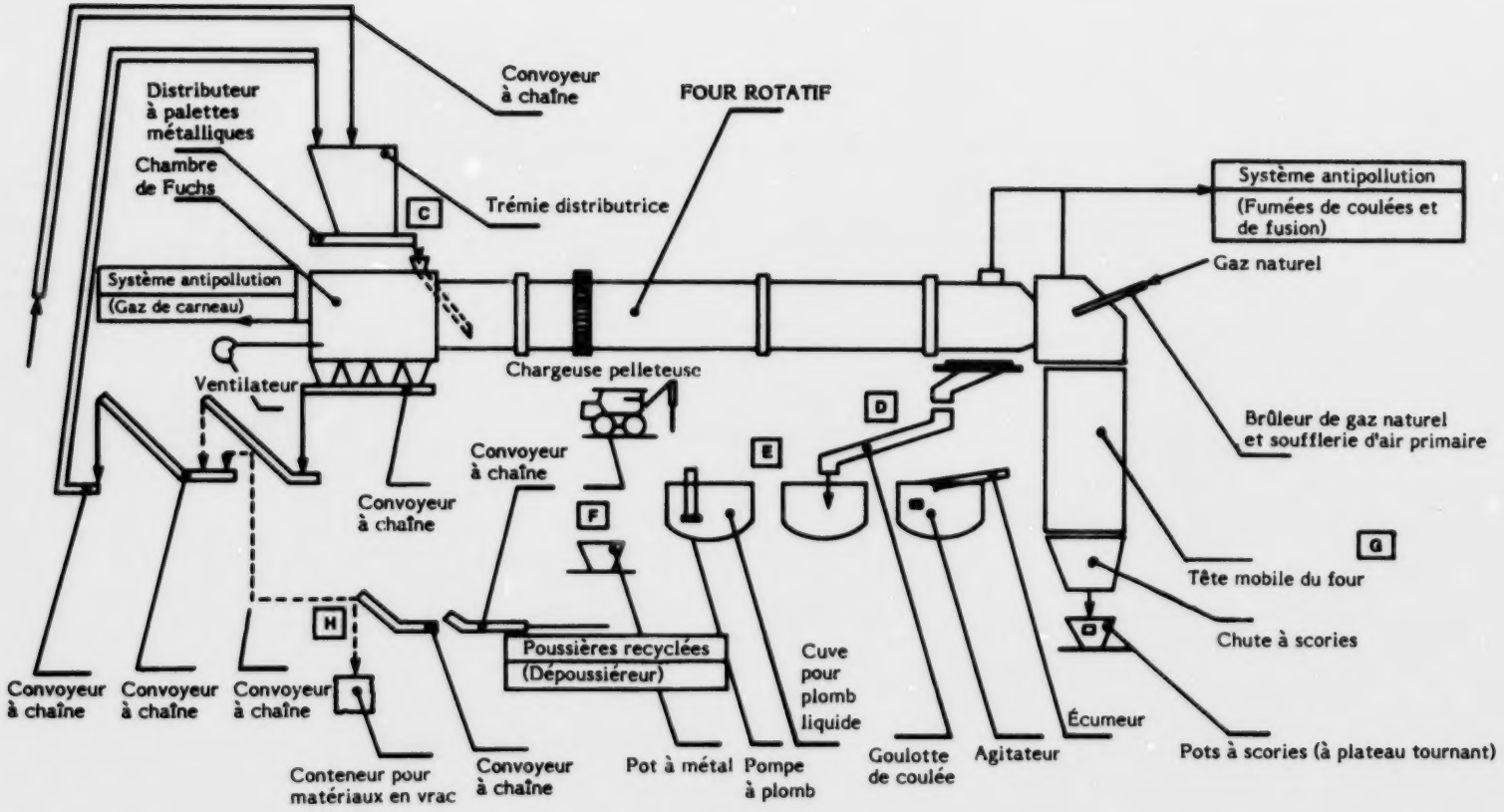


FIGURE A-2 FOUR ROTATIF

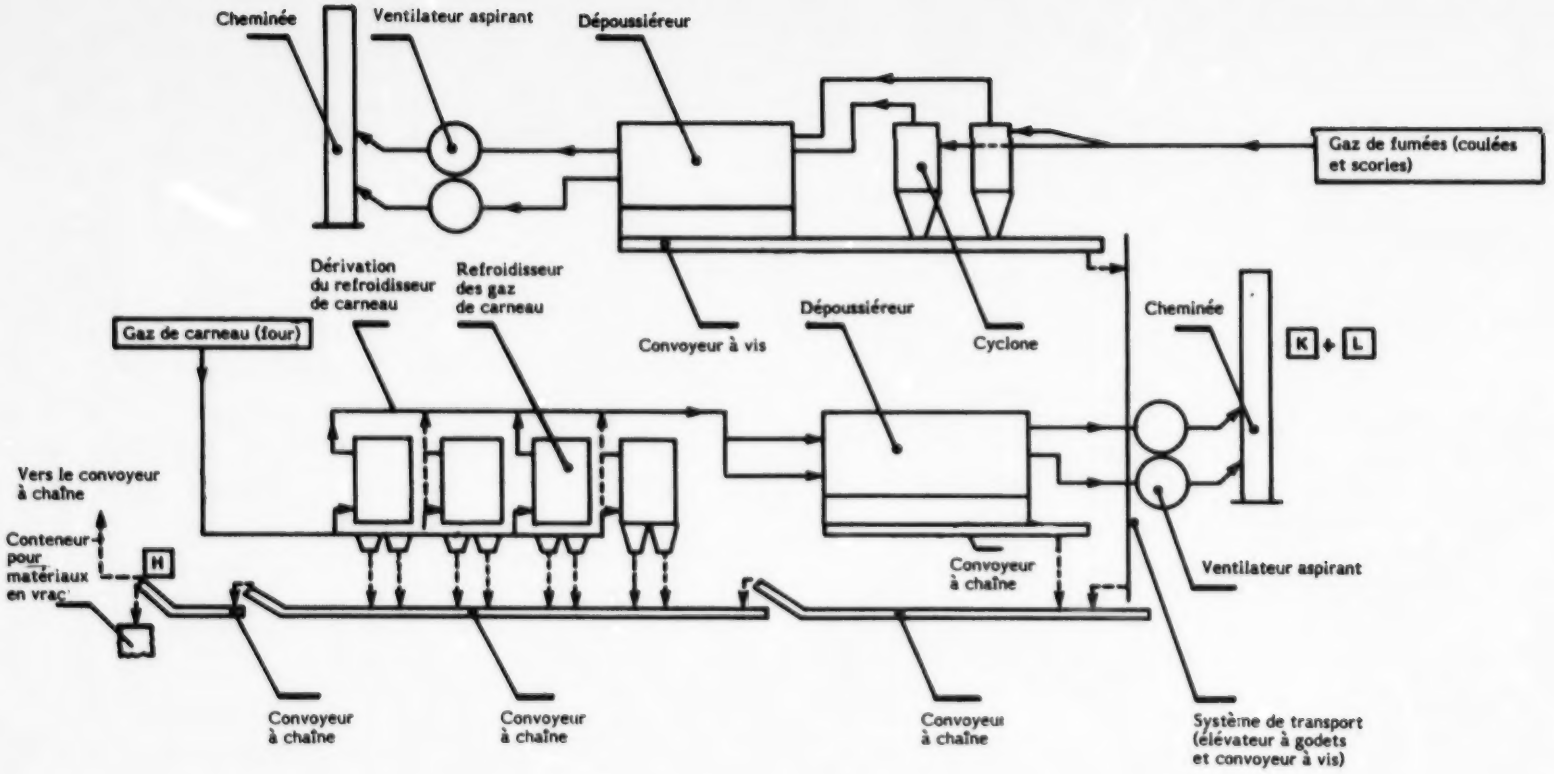


FIGURE A-3 SYSTÈME ANTIPOLLUTION
(Gaz de cheminée et fumées de coulées et de fusion)

ANNEXE B
RÉSUMÉ DES CHARGEMENTS
ET
ANALYSES CHIMIQUES

TABLEAU B-1 RÉSUMÉ DES CHARGEMENTS

Chargement nº	Date de réception	Poids brut (kg)	Nombre de fûts/ palettes	Teneur moyenne en eau (%)	Teneur en Pb (% poids sec)	Quantité de Pb (kg)	Teneur en S (% poids sec)	Teneur en chromates (% poids sec)	Quantité de chromates (kg)	Quantité d'eau (kg)
1	Jan. 27	14 692	44/11	18,4	68,0	8152	8,84	10,10	1211	2703
2	Fév. 4	17 935	48/12	25,7	65,0	8662	0,02	9,30	1239	4609
3	Fév. 5	15 182	44/11	33,8	51,4	5166	9,25	2,49	250	5131
4	Fév. 9	13 884	44/11	30,9	49,0	4701	4,93	1,88	180	4290
5	Fév. 10	13 381	48/12	28,0	60,0	5781	6,30	4,00	386	3747
6	Fév. 11	16 656	48/12	25,0	57,0	7120	6,80	3,50	437	4164
7	Fév. 11	16 524	44/11	28,0	61,0	7257	5,00	4,27	508	4627
8	Fév. 12	15 490	44/11	31,0	44,0	4703	7,40	2,00	214	4802
9	Fév. 12	17 373	48/12	26,9	44,0	5588	2,09	1,30	165	4673
10	Fév. 15	18 008	48/12	44,3	61,0	6119	6,49	10,00	1003	7977
11	Fév. 16	15 037	44/11	25,1	43,0	5068	1,25	6,00	676	3774
12	Fév. 17	15 726	44/11	32,8	46,0	4861	7,16	5,00	528	5158
13	Fév. 18	17 273	48/12	32,3	56,4	6595	10,70	0,74	87	5579
14	Fév. 18	16 787	44/11	36,8	57,6	6111	6,63	4,20	445	6178
15	Fév. 19	15 318	44/11	38,0	47,5	4511	10,70	-	0	5821
16	Fév. 22	17 890	48/12	33,1	55,6	6654	6,30	11,10	1329	5922
17	Fév. 23	15 459	44/11	34,4	52,0	5273	10,10	-	0	5318
18	Fév. 24	19 686	48/12	43,0	43,2	4848	10,40	11,30	1268	8465
19	Fév. 25	17 078	44/11	32,9	51,9	5948	6,90	10,80	1237	5619
20	Fév. 25	16 606	44/11	27,7	47,2	5667	9,40	-	0	4600
21	Fév. 26	16 270	44/11	29,4	50,8	5835	8,06	12,00	1378	4784
22	Fév. 26	15 771	44/11	41,0	55,7	5183	6,81	13,00	1210	6466
23	Fév. 29	15 917	44/11	28,6	51,2	5819	10,40	10,00	1136	4552
24	Mars 1	15 536	44/11	28,9	43,5	4805	12,20	1,84	203	4490
25	Mars 1	16 461	44/11	50,4	52,5	4286	2,80	4,50	367	8296
26	Mars 1	16 715	44/11	27,2	43,2	5293	11,50	2,85	347	4546
27	Mars 2	16 125	44/11	31,0	51,6	5741	12,30	1,37	154	4995
28	Mars 3	14 383	44/11	44,9	49,2	3899	4,00	2,61	207	6458
29	Mars 3	16 316	44/11	45,2	47,5	4247	6,00	2,01	180	7375
30	Mars 4	15 699	44/11	43,1	56,1	5011	7,05	8,00	714	6766
31	Mars 4	13 984	44/11	44,8	57,2	4418	2,63	12,00	927	6260
32	Mars 7	16 969	44/11	46,9	55,5	5001	9,30	5,00	450	7958
33	Mars 7	12 252	44/11	23,9	55,3	5156	9,92	7,00	653	2928
34	Mars 8	17 051	44/11	47,9	51,3	4557	3,24	7,00	622	8195
35	Mars 9	16 579	44/11	57,9	60,4	4216	4,39	13,00	907	9599
36	Mars 10	15 164	44/11	45,3	52,0	4313	1,13	13,00	1078	6869
37	Mars 11	15 363	44/11	23,6	51,7	6068	10,30	0,33	39	3626
38	Mars 11	15 880	44/11	19,6	52,0	6639	10,50	4,10	523	3113
39	Mars 11	15 935	44/11	32,5	53,7	5776	6,12	1,90	205	5179
40	Mars 14	16 325	44/11	38,2	46,0	4641	2,83	10,30	1039	6236
41	Mars 15	18 547	44/11	44,1	57,2	5930	7,11	8,90	923	8179
42	Mars 16	18 157	44/11	31,5	46,5	5784	9,40	2,00	249	5719
43	Mars 16	16 914	44/11	27,6	51,6	6319	10,60	0,86	105	4668
44	Mars 17	17 477	44/11	26,6	44,1	5657	8,50	3,00	385	4649
Total						243			25	245
Moyenne pondérée	En tant que % du total, poids humide					34,19			3,54	34,43
	En tant que % du total, poids sec					52,13			5,39	

TABLEAU B-2 ANALYSES CHIMIQUES

Chargement n°	Poids brut (kg)	Cr (%)	H_2O (%)	Pb (%)	Sb (%)	Sn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Cd (%)	Zn (%)	Te (%)	Fe (%)	S (%)
1	14 692	10,10	8,4	68,0	0,0640	0,0001	0,0028	0,0016	0,0004	0,0020	0,0001	0,0028	0,0020	0,0001	0,0070	8,84
2	17 933	9,30	25,7	65,0	0,0600	0,0020	0,0040	0,0024	0,0026	0,0062	0,0040	0,0014	0,0020	0,0001	0,0220	0,02
3	15 182	2,90	33,8	51,4	0,0360	-	0,0020	0,0028	0,0096	0,0100	-	0,0002	0,0038	0,0001	0,0160	9,25
4	13 884	1,90	30,9	49,0	0,1300	-	0,0020	0,0022	0,0072	0,0100	-	0,0002	0,0024	0,0001	0,0120	4,93
5	13 381	4,00	25,0	60,0	0,0410	-	0,0020	0,0009	0,0033	0,0110	-	0,0002	0,0011	0,0001	0,0200	6,30
6	16 636	3,50	25,0	57,0	0,0510	-	0,0020	0,0021	0,0010	0,0083	-	0,0002	0,0030	0,0001	0,0130	6,80
7	16 324	4,27	28,0	61,0	0,0910	-	0,0018	0,0018	0,0002	0,0100	-	0,0002	0,0013	0,0001	0,0160	5,00
8	13 490	2,00	31,0	44,0	0,0340	-	0,0020	0,0010	0,0038	0,0120	-	0,0002	0,0012	0,0001	0,0200	7,40
9	17 373	13,00	26,9	44,0	0,0400	-	0,0020	0,0018	0,0014	0,0200	-	0,0002	0,0032	0,0001	0,0280	2,04
10	18 008	10,00	44,3	61,0	0,1000	-	0,0012	0,0026	0,0022	0,0004	-	0,0002	0,0002	0,0001	0,0180	6,49
11	15 037	6,00	25,1	45,0	3,2000	-	0,0060	0,0018	0,0120	0,0096	0,1600	-	0,0400	0,0001	0,4800	1,25
12	15 726	5,00	32,8	46,0	0,0040	-	0,0028	0,0016	0,0022	0,0016	0,2000	-	0,0028	0,0001	0,0334	7,20
13	17 273	0,74	32,3	60,0	0,0250	-	0,0018	0,0006	0,0106	0,0216	0,3000	0,0016	0,0004	0,0001	0,0320	10,70
14	16 787	4,20	36,8	61,0	0,3300	-	0,0026	0,0020	0,0140	0,0220	0,3000	0,0016	0,0014	0,0001	0,0420	6,60
15	15 318	-	75,0	47,5	0,7500	0,0026	0,0104	0,0044	0,0036	0,0148	0,0004	0,0004	0,0038	0,0001	0,2200	8,06
16	17 890	11,10	33,1	57,3	1,4500	0,0022	0,0022	0,0008	0,0024	0,0284	0,0006	0,0034	0,0042	0,0001	0,3400	10,70
17	15 459	-	14,4	32,0	0,2800	0,0020	0,0028	0,0004	0,0018	0,0172	0,0022	0,0034	0,0026	0,0001	0,3000	6,30
18	19 686	11,30	45,0	23,2	0,8200	0,0042	0,0016	0,0001	0,0018	0,0172	0,0022	0,0021	0,0026	0,0001	0,3000	10,00
19	17 078	10,80	20,9	51,9	0,9000	0,0029	0,0016	0,0041	0,0021	0,0066	0,0005	0,0011	0,0031	0,0001	0,2100	6,90
20	16 606	-	27,7	47,2	0,9200	0,0031	0,0021	0,0001	0,0009	0,0111	0,0010	0,0039	0,0020	0,0001	0,3000	9,40
21	16 270	12,00	29,4	30,8	1,8000	-	0,0010	0,0010	0,0006	0,0056	-	-	0,0020	0,0001	0,0632	3,06
22	15 771	13,00	41,0	55,7	0,2600	-	0,0008	0,0006	0,0012	0,0056	-	-	-	0,0001	0,0192	6,81
23	13 917	10,00	28,0	51,2	0,2000	-	0,0020	0,0004	0,0009	0,0100	-	0,0002	0,0046	0,0001	0,0738	10,40
24	13 917	1,84	28,9	43,5	0,0420	-	0,0014	0,0108	0,0024	0,0080	0,1800	0,0002	0,0022	0,0001	0,470	12,0
26	16 715	2,85	27,2	43,5	0,0350	-	0,0022	0,0060	0,0028	0,0160	0,3000	0,0002	0,0008	0,0001	0,0026	11,30
27	16 125	1,37	31,0	51,6	0,0120	-	0,0020	-	0,0010	0,0020	0,0760	0,0002	0,0018	0,0001	0,0154	12,30
28	14 383	2,61	44,9	49,2	0,6000	-	0,0012	0,0014	0,0020	0,0060	-	0,0002	0,0036	0,0001	0,0176	4,00
29	16 316	2,01	45,2	47,2	2,8400	-	0,0030	0,0016	0,0042	0,0060	-	0,0002	0,0042	0,0001	0,0722	6,00
30	15 699	8,00	43,1	56,1	0,8400	0,3000	0,0018	0,0024	0,0014	0,0050	0,0800	-	0,0008	0,0001	0,0190	7,05
31	13 984	12,00	44,7	37,2	0,2600	-	0,0422	0,0182	0,0010	0,0064	0,1000	0,0004	0,0010	0,0001	0,1800	2,63
32	16 969	5,00	46,9	55,5	0,5000	-	0,0020	0,0018	0,0020	0,0012	0,1100	0,0002	0,0036	0,0001	0,0340	9,30
33	12 252	7,00	23,9	55,3	0,2700	-	0,0012	0,0008	0,0024	0,0040	0,1200	-	0,0008	0,0001	0,0236	9,92
34	17 031	7,00	47,9	51,3	0,1000	-	0,0072	0,0024	0,0008	0,0012	0,1200	-	0,0006	0,0001	0,0514	3,24
35	16 379	13,00	57,4	60,4	0,0002	0,1000	0,0062	0,0022	0,0010	0,0088	0,1180	0,0002	0,0008	0,0001	0,0982	4,30
36	15 164	13,00	45,3	32,0	1,5000	-	0,2020	0,0050	0,0022	0,0134	0,0800	-	0,0120	0,0001	0,0780	1,13
37	15 363	0,33	23,6	51,7	0,3300	-	0,0018	0,0008	0,0020	0,0066	0,0800	0,0002	0,0014	0,0001	0,0282	10,30
38	15 880	4,10	19,6	52,0	0,1000	-	0,0016	0,0008	0,0006	0,0046	0,0040	0,0002	0,0020	0,0001	0,0252	10,50
39	15 933	1,90	32,3	53,7	0,6000	-	0,0014	0,0002	0,0036	0,0144	0,0600	0,0002	0,0006	0,0001	0,0380	6,72
40	16 323	10,30	38,2	46,0	0,0760	-	0,0026	0,0064	0,0006	0,0060	0,0600	0,0002	0,0400	0,0001	0,0260	2,83
41	18 547	8,90	44,1	57,2	0,8400	0,3000	0,0019	0,0023	0,0023	0,0003	0,0090	-	0,0006	0,0001	0,0230	7,11
42	18 157	0,86	31,5	43,6	0,1100	0,0440	0,0018	-	0,0152	0,0940	0,1200	0,0002	0,0036	0,0001	0,0180	10,80
43	16 914	2,00	27,6	51,6	0,0900	0,0320	0,0020	0,0010	0,0038	0,0260	0,1300	0,0002	0,0012	0,0001	0,0120	9,40
44	17 477	3,60	26,6	44,1	0,1400	-	0,0030	0,0044	0,0016	0,0020	0,0880	0,0004	0,0160	0,0001	0,0670	8,50
Total	711 775															
Moyenne		5,83	34,2	51,5	0,4400	0,0388	0,0026	0,0024	0,0034	0,0145	0,0975	0,0006	0,0058	0,0001	0,0728	7,25